

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-219389

(43)Date of publication of application : 14.08.2001

(51)Int.Cl. B25J 9/16  
B25J 5/00  
B25J 13/00  
G05B 13/02

(21)Application number : 2000-381009

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 17.10.1995

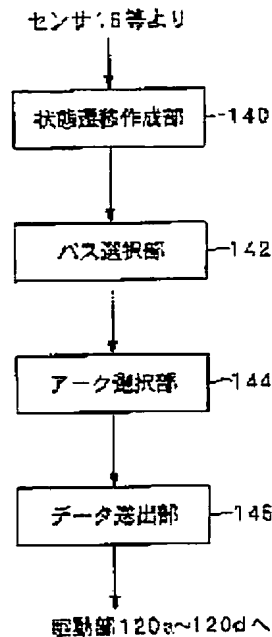
(72)Inventor : FUJIKAWA TAKAYUKI  
FUJITA MASAHIRO

## (54) ROBOT DEVICE, CONTROL METHOD OF ROBOT DEVICE, RECORDING MEDIUM AND PROGRAM

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To diversify motion of a robot and to improve power of expression.

SOLUTION: A state transition forming part 140 detects a state where a motion pass passes until a robot 1 reaches a target state from a primary state of a robot 1 and adds a weight coefficient  $w_{ij}$  to a plural number of motion arcs between these states. A pass selection part 142 selects the motion arcs between each of the states so that a sum of the weight coefficients of the motion arcs included in the motion pass comes to be minimum. An arc selection part 144 stochastically selects the motion arcs included in the motion pass selected by the pass selection part 142 in accordance with the weight coefficients and decides a final motion pass. A data transmission part 146 forms a motion data included in the final motion pass and required to realize motion of the robot 1 shown by the motion arc included in the final motion pass in time-series, and realizes motion of the robot 1 by controlling driving parts 120a-120d.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3413725

[Date of registration] 04.04.2003

[Number of appeal against examiner's decision]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-219389  
(P2001-219389A)

(43)公開日 平成13年8月14日(2001.8.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
B 2 5 J 9/16		B 2 5 J 9/16	
5/00		5/00	C
13/00		13/00	Z
G 0 5 B 13/02		G 0 5 B 13/02	M

審査請求 有 請求項の数12 ○L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2000-381009(P2000-381009)  
(62)分割の表示 特願平7-268422の分割  
(22)出願日 平成7年10月17日(1995.10.17)

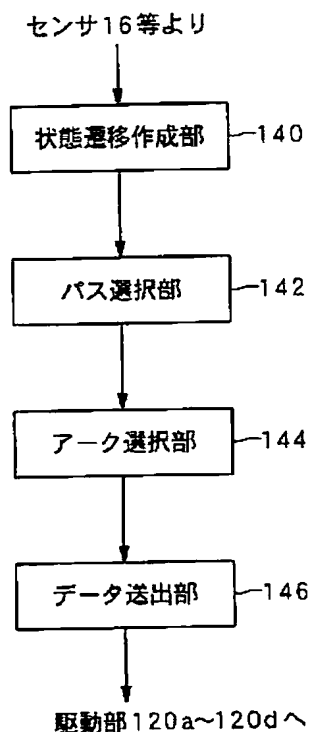
(71)出願人 000002185  
ソニー株式会社  
東京都品川区北品川6丁目7番35号  
(72)発明者 藤川 孝之  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
(72)発明者 藤田 雅博  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内  
(74)代理人 100067736  
弁理士 小池 晃 (外2名)

(54)【発明の名称】 ロボット装置、ロボット装置の制御方法、記録媒体及びプログラム

(57)【要約】

【課題】 ロボットの動作を多様化し、表現力を高める。

【解決手段】 状態遷移作成部140は、ロボット1の初期状態から目標状態に到るまでに動作パスが通過する状態を検出し、これらの状態間の複数の動作アークに重み係数 $w_{ij}$ を付加する。パス選択部142は、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になるように、各状態間それぞれの間の動作アークを選択する。アーク選択部144は、パス選択部142が選択した動作パスに含まれる動作アークを、重み係数に基づいて確率的に選択し、最終的な動作パスを決定する。データ送信部146は、最終的な動作パスに含まれる動作アークが示すロボット1の動作を実現するために必要な動作データを経時的に生成し、駆動部120a~120dを制御してロボット1の動作を実現する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置において、  
上記ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデル記憶手段と、

上記動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、上記選択した動作を表現するように、上記関節駆動部を制御する動作制御手段とを有することを特徴とするロボット装置。

【請求項 2】 上記動作状態モデルは、  
所定の複数の状態を有し、  
直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、上記 2 つの状態の間を遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、  
定めた上記動作アークそれぞれに、上記動作アークが選択される遷移確率が付された確率状態遷移モデルで記述されたことを特徴とする請求項 1 記載のロボット装置。

【請求項 3】 上記動作アークは、上記複数の状態の内の 1 つの状態から、自己の状態へ遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す自己動作アークを含むことを特徴とする請求項 2 記載のロボット装置。

【請求項 4】 上記遷移確率は、動的に変更可能であることを特徴とする請求項 2 記載のロボット装置。

【請求項 5】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御方法において、  
上記ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、  
上記選択した動作を表現するように、上記関節駆動部を制御することを特徴とするロボット装置の制御方法。

【請求項 6】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするプログラムを記録した記録媒体において、  
上記ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、  
上記選択した動作を表現するように、上記関節駆動部を制御するプログラムを記録した記録媒体。

【請求項 7】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするためのプログラムにおいて、  
上記ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、  
上記選択した動作を表現するように、上記関節駆動部を制御するためのプログラム。

【請求項 8】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置において、  
上記ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデル記憶手段を有し、  
上記複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、上記 2 つの状態の間を遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、

定めた上記動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、

上記複数の状態の内、第 1 の状態から第 2 の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる上記重み係数全体の評価結果に基づいて 1 の遷移パスを決定することを特徴とするロボット装置。

【請求項 9】 上記重み係数は、動的に変更可能であることを特徴とする請求項 8 記載のロボット装置。

【請求項 10】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御方法において、  
上記ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの上記複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、上記 2 つの状態の間を遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、  
定めた上記動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、

上記複数の状態の内、第 1 の状態から第 2 の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる上記重み係数全体の評価結果に基づいて 1 の遷移パスを決定し、

上記決定した遷移パスに基づいて上記第 1 の状態から上記第 2 の状態に上記ロボット装置を遷移させる制御をすることを特徴とするロボット装置の制御方法。

【請求項 11】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするプログラムを記録した記録媒体において、

ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、上記 2 つの状態の間を遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、

定めた上記動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、

上記複数の状態の内、第 1 の状態から第 2 の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる上記重み係数全体の評価結果に基づいて 1 の遷移パスを決定し、

上記決定した遷移パスに基づいて上記第 1 の状態から上記第 2 の状態に上記ロボット装置を遷移させる制御をするプログラムを記録した記録媒体。

【請求項 12】 関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするためのプログラムにおいて、

上記ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの上記複数の状態の内、直接に遷移可能な 2 つの状態の間それぞれにおいて、上記 2 つの状態の間を遷移する際の上記ロボット装置の動作を示す 1 つ以上の動作アークを定め、

定めた上記動作アークそれぞれに所定の重み係数を付

し、  
上記複数の状態の内、第1の状態から第2の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる上記重み係数全体の評価結果に基づいて一の遷移パスを決定し、  
上記決定した遷移パスに基づいて上記第1の状態から上記第2の状態に上記ロボット装置を遷移させる制御をするためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ロボット装置の民生用あるいは産業用の利用に関し、ロボット装置及びそのようなロボット装置の行動パターンを制御するロボット装置の制御方法、並びにそのようなロボット装置を制御するためのプログラム及びそのようなプログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】ロボットに行動を教示する場合、予め所望の行動パターンおよびその順番を全てプログラム化し、ロボットまたはロボットの制御装置に記憶させておく必要があった。行動がプログラムにより決められている場合、ロボットはプログラムに記述された行動パターンをそのまま継続的に保って動作する。従って、ロボットの行動を多様化することができず、ロボットを行動させて表現可能な事象に限りがあり、その表現力も充分とはいえなかった。

【0003】最近、周囲で変化する動的環境に応じてロボットの行動を変更することができる行動制御方式として、障害物回避、徘徊などの基本行動を階層化して制御するサブサンプションアーキテクチャ（Subsumption Architecture）方式が提案されている。この方式によれば、上位階層に属する行動が周囲の環境に適應せず、失敗に終わった場合に、ロボットに下位階層に属する行動をとることを常に誘発することができる。しかし、逆に、下位階層に属する行動が失敗した場合には、ロボットに上位階層に属する行動をとることを積極的に誘発する行動制御が困難である。

【0004】また、サブサンプションアーキテクチャ方式によれば、行動パターンは階層的な行動の積み重ねにより与えられるが、各階層に含まれる行動パターンが固定化されるため、行動パターンの多様性に制約が生じてしまう。このように、サブサンプションアーキテクチャ方式においては、ロボットの行動パターンの単調化が避けられず、ロボットの動作が有する表現力も限られたものになってしまう。

【0005】本発明は、上述した従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、ロボットの動作を多様化し、動作により表現可能な事象を増やし、しかも、ロボットの動作の表現力を高めることができるロボット装置、ロボット装置の制御方法、記録媒体及びプログラムを提供

することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明に係るロボット装置は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置である。このロボット装置は、上述の課題を解決するために、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデル記憶手段と、動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する動作制御手段とを有する。

10 【0007】このような構成を有するロボット装置は、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する。例えば、これにより、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

20 【0008】また、本発明に係るロボット装置の制御方法は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御方法である。このロボット装置の制御方法は、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する。例えば、この制御方法により、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

30 【0009】また、本発明に係る記録媒体は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするプログラムを記録した記録媒体である。この記録媒体は、上述の課題を解決するために、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御するプログラムを記録している。

40 【0010】この記録媒体に記録されているプログラムの実行により、ロボット装置は、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する。例えば、これにより、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

【0011】また、本発明に係るプログラムは、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするためのプログラムである。このプログラムは、上述の課題を解決するために、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する。

【0012】このプログラムの実行により、ロボット装置は、ロボット装置の動作状態を記述した動作状態モデルに記述された動作を確率的に選択し、選択した動作を表現するように、関節駆動部を制御する。例えば、これにより、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

50 【0013】また、本発明に係るロボット装置は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置である。このロボット装置は、上述の課題を解決するため

に、ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデル記憶手段を有し、複数の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれにおいて、2つの状態の間を遷移する際のロボット装置の動作を示す1つ以上の動作アークを定め、定めた動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、複数の状態の内、第1の状態から第2の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる重み係数全体の評価結果に基づいて一の遷移パスを決定する。例えば、これにより、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

【0014】また、本発明に係るロボット装置の制御方法は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御方法である。このロボット装置の制御方法は、上述の課題を解決するために、ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの複数の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれにおいて、2つの状態の間を遷移する際のロボット装置の動作を示す1つ以上の動作アークを定め、定めた動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、複数の状態の内、第1の状態から第2の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる上記重み係数全体の評価結果に基づいて一の遷移パスを決定し、決定した遷移パスに基づいて第1の状態から第2の状態にロボット装置を遷移させる制御をする。例えば、この制御方法により、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

【0015】また、本発明に係る記録媒体は、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするプログラムを記録した記録媒体である。この記録媒体は、上述の課題を解決するために、ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの複数の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれにおいて、2つの状態の間を遷移する際のロボット装置の動作を示す1つ以上の動作アークを定め、定めた動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、複数の状態の内、第1の状態から第2の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる重み係数全体の評価結果に基づいて一の遷移パスを決定し、決定した遷移パスに基づいて第1の状態から第2の状態にロボット装置を遷移させる制御をするプログラムを記録している。例えば、この記録媒体に記録されているプログラムの実行により、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

【0016】また、本発明に係るプログラムは、関節駆動部を有し所定の動作を表現するロボット装置の制御をするためのプログラムである。このプログラムは、上述の課題を解決するために、ロボット装置の所定の複数の状態及び所定の複数の動作が定義された状態遷移モデルの複数の状態の内、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれにおいて、上記2つの状態の間を遷移する際のロ

ット装置の動作を示す1つ以上の動作アークを定め、定めた動作アークそれぞれに所定の重み係数を付し、複数の状態の内、第1の状態から第2の状態へ遷移する際に、到達可能な遷移パスそれぞれに含まれる重み係数全体の評価結果に基づいて一の遷移パスを決定し、決定した遷移パスに基づいて第1の状態から第2の状態にロボット装置を遷移させる制御をする。例えば、このプログラムの実行により、ロボット装置は、動作の表現力が増大される。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を説明する。図1は、本発明に係るロボット制御方法が適用されるロボット1の外形を例示する図であって、(A)はロボット1の正面図を示し、(B)はロボット1の上面図を示し、(C)はロボット1の側面図を示す。

【0018】図1(A)～(C)に例示するように、ロボット1は、本発明に係るロボット制御方法によりそれぞれ制御され、駆動される4本の脚10a～10dを有する。

【0019】ロボット1の「寝る(状態1:Sleeping)」、「座る(状態2:Sitting)」、「波打つ(状態3:Waving)」或いは「手を振る(状態3:Waving)」、「立つ(状態4:Standing)」および「歩く(状態5:Walking)」といった基本的な動作は「状態(図4等)」として定義される。また、ロボット1は、これらの状態の間を状態遷移する際には、予め定義され、それぞれ選択される確率に対応する重み係数が付され、この重み係数に基づいて確率的に選択され、これらの状態の間で状態遷移を行う際のロボット1の動作を規定する「動作アーク」に基づいた動作を行う。

【0020】図2は、図1に示したロボット1において本発明に係るロボット制御方法を実現するために用いられる制御部12の構成を示す図である。

【0021】図2に示すように、ロボット1の制御部12は、制御回路14、駆動部120a～120dおよびセンサ16から構成される。

【0022】制御回路14は、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、および、演算処理に必要な周辺回路から構成され、本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム(図3)を実行し、予め設定された状態を定義するデータ、および、センサ16から入力されるセンサデータ等に基づいて、駆動部120a～120dに対して脚10a～10dの動きを示す動作データを供給する。

【0023】センサ16は、例えばロボット1の周囲の環境、例えば光の強度・色、温度、および、周囲にある壁や他のロボット1との距離を検出し、検出した周囲の環境に係るセンサデータを制御回路14に対して出力する。

【0024】駆動部120a～120dは、それぞれモ

ータおよびモータ駆動回路等から構成され、制御回路 14 から入力された動作データに基づいて脚 10a ~ 10d を前後・上下に動かす。つまり、制御回路 14 および駆動部 120a ~ 120d は協働して、各状態におけるロボット 1 の動作、および、状態遷移中のロボット動作を実現する。

【0025】図 3 は、本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム構成を示す図である。

【0026】図 3 に示す状態遷移作成部 140、パス選択部 142、アーク選択部 144 およびデータ送出部 146 は、状態遷移作成部 140 の ROM に記憶されており、制御回路 14 のマイクロプロセッサにより実行される。

【0027】(1) 状態遷移作成部 140 の動作  
状態遷移作成部 140 は、ロボット 1 の動作開始時の状態（初期状態）から動作終了時の状態（目標状態）に到るまでに通過する状態を検出し、検出した状態と、状態の間を遷移する際の動作アークとに基づいて状態遷移図（図 4 等）を作成する。

【0028】まず、ロボット 1 に実現される状態を予め定義し、ロボット 1 の動作を直接、定義した各状態間で遷移させるために、各状態間を遷移する際のロボット 1 の動作を示す動作アークを、直接に遷移可能な 2 つの状態の間で 1 つ以上定義する。これらの、定義した動作アークそれぞれには、アーク選択部 144 により選択される確率に対応する重み係数を付する。

【0029】以上のように定義された状態と動作アークは状態遷移図に表すことができる。つまり、定義された 2 つの状態  $S_i$ 、 $S_j$  に対して、状態  $S_i$  から状態  $S_j$  にロボット 1 の動作を遷移させる動作アーク  $A_{ij}$  が定義される。

【0030】動作アーク  $A_{ij}$  には、重み係数  $w_{ij}$  が与えられる。最終的な動作パスに含まれる動作アーク  $A_{ij}$  は、N 個の動作アーク  $A_{ij}^k$ 、 $(k = 1, \dots, N)$  から選択可能であり、動作アーク  $A_{ij}^k$  が選択される確率的重み  $P^k$  ( $k = 1, \dots, N$ ) は、下式で表される。

【0031】

【数 1】

$$1 = \sum_{k=1, \dots, N} P^k$$

【0032】図 4 に、ロボット 1 の状態、動作アークおよび重み係数の関係を示す状態遷移図の例を示す。

【0033】例えば、図 4 に例示するように、ロボット 1 が脚 10a ~ 10d を縮めて底面を床につける状態 1（スリーピング；Sleeping）から、ロボット 1 が脚 10a、10b を縮め、脚 10c、10d を伸ばして脚 10c、10d 側の底面だけを床につける状態 2（シッティ

ング；Sitting）に状態遷移する際の動作アークには重み係数  $w_{12}$  が付されている。

【0034】また、状態 1（スリーピング；Sleeping）から、ロボット 1 が脚 10a ~ 10d を延ばして床に対して底面を平行に保つ状態 4（スタンディング；Standing）に状態遷移する際の動作アークには重み係数  $w_{14}$  が付されている。また、状態 2 から状態 1 に状態遷移する際の動作アークには重み係数  $w_{21}$  が付されている。

【0035】状態 1、2、4 と、他の 2 状態（ロボット 1 が脚 10a、10b と脚 10c、10d とを交互に伸縮する状態 3（ウェービング；Waving）、および、ロボット 1 が歩行する状態 5（ウォーキング；Walking））との間にも同様に動作アークが定義され、それぞれ重み係数  $w_{24}$ 、 $w_{42}$ 、 $\dots$ 、 $w_{53}$  が付される。

【0036】また、図 5 に、図 4 において隣接する位置にあり、他の状態を介さずに直接状態遷移することができる 2 つの状態間に定義された N 個の動作アークの例を示す。

【0037】図 5 に例示するように、状態 1 と状態 2 との間には N 本の動作アーク  $A_{12}$  が定義されており、これら N 本の動作アーク  $A_{12}$  がアーク選択部 144 により選択される確率は、それぞれ確率的重み  $P(1) \sim P(N)$  となる。

【0038】(2) パス選択部 142 の動作  
パス選択部 142 は、状態遷移作成部 140 が作成した状態遷移図に基づいて、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になる動作アークの集合を、ロボット 1 が初期状態から目標状態に到るまでの間に経過する動作パスとして選択する。つまり、動作パスに含まれる直接に遷移可能な 2 つの隣接する状態の間には、1 つ以上の動作アークが存在しうる。

【0039】パス選択部 142 は、図 4 に示した状態遷移図に基づいて、ロボット 1 を初期状態  $S_0$  から目標状態  $S_G$  へ設定させるとき、最適な動作パスを選択する。動作パスは、初期状態  $S_0$  から出発して、状態から直接接続している動作アークを経由して目標状態  $S_G$  へ到達可能な動作アーク列として定義される。この動作パスは、一般に複数、存在する。これらの動作パスから、下式に示す評価関数  $W$  を最小にするいずれかを選択する。

【0040】

【数 2】

$$W = \min_i W_i$$

【0041】

【数 3】

$$W_i = \sum_{n=0}^{m_i-1} w_{n,n+1}$$

【0042】ここで、上記2式において、Mは図4に示した状態遷移図の状態 $S_i$ の総数を示す。また、 $W_i$ は、初期状態 $S_0$ から目標状態 $S_G$ へ到達可能なパス1を構成する動作アークの重み係数の和を示す。また、 $m_i$ は、そのパスを構成する動作アーク $A_{i,j}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, M, i \neq j$ )の数を表す。

【0043】以下、パス1を選択する具体的な処理手段について説明する。まず、初期設定として、状態 $S_i$ を管理する2つのリスト、閉リストおよび開リストを定義する。閉リストの初期集合は空集合である。

【0044】開リストの初期集合として、下式のように全ての状態 $S_i$  ( $i = 1, \dots, M$ )を与える。

【0045】

【数4】

閉リスト =  $\Phi$

開リスト =  $\{S_1, S_2, \dots, S_M\}$

【0053】ここで、式(0.1)を満足する状態 $S_i$ を新しい接続状態 $S_p$ として、接続状態 $S_p$ を更新する。この新たな接続状態 $S_p$ を開リスト集合から除き、閉リスト集合に加える。このとき、旧接続状態 $S_p$  (OLD)は新接続状態 $S_p$  (NEW)の親となり、ポインターで接続される。

【0054】

【数8】

$S_p(OLD) - S_p(NEW)$

※

$A_{a,i_1} \rightarrow A_{i_1,i_1} \rightarrow A_{i_1,i_2} \rightarrow A_{i_2,i_2} \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}} \rightarrow A_{i_{m-1},G}$

【0058】以上のように、初期状態 $S_0$ を除き、動作パスが経由する状態 $S_i$ に対応する $A_{i,j}$ を必ず選択する。

【0059】図6は、パス選択部142の処理を示すフローチャートである。図6に示すように、パス選択部142は、初期設定として、開リスト集合 (OPEN) の要素を全状態とし、閉リスト集合 (CLOSED) を空とする (S1)。また、初期接続状態を $S_0$ とする (S2)。

【0060】目標状態と接続状態が一致するならば、目標状態にすでに到達したことになるので、状態探索を終

\* 【0046】また、下式のように、評価変数の初期値として各状態 $S_i$ に対応した評価変数 $D[i]$ を定義する。

【0047】

【数5】

$$D[i] = \begin{cases} 0 & i = 0, \text{ 初期状態} \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

10 【0048】また、下式のように、初期状態 $S_0$ を初期接続状態 $S_p$ とする。

【0049】

【数6】

$$S_p = S_0$$

【0050】次に、開リスト集合、閉リスト集合、評価変数、接続状態の更新を行う。

【0051】下式中の式(0.1)、(0.2)を用いて、 $S_p = S_0$ となるまで、開リスト集合、閉リスト集合、評価変数、接続状態の更新を繰り返す。

20

【0052】

\* 【数7】

$\min_{S_i} D[i], S_i \in \text{開リスト}(0.1)$

$D[i] = \min_{S_i} \{D[i], D[p] + w(S_p, S_i)\}, S_i \in \text{開リスト}(0.2)$

※ 【0055】この新接続状態 $S_p$ を介して、式(0.2)より評価変数 $D[i]$ を更新する。

30 【0056】さらに、閉リスト内に目標状態 $S_G$ からポインターをたどって、初期状態 $S_0$ に到る状態列 $1 = S_0, \dots, S_{i_1}, \dots, S_{i_2}, \dots, S_{i_{m-1}}, S_G$ が得られる。このとき、ロボットの初期状態 $S_0$ から目標状態 $S_G$ までの動作パスは、閉リスト内のポインターを逆にたどることにより、下式のように求められる。

【0057】

【数9】

了する (S3)。

【0061】閉リスト集合内で目標状態から初期状態へポインターをたどり、逆向きに初期状態から目標状態へソーティングし直す (S7)。

【0062】以上の各処理により、状態間を結ぶ動作アーク列が生成され、パス選択部142の実行が終了する。

【0063】もし、目標状態と接続状態が一致しなければ、開リスト集合の中で、評価変数を最小にする状態を新しい接続状態 $S_p$ とし、閉リスト集合内に加える (S

4)。

【0064】開リスト内の評価変数を新しい接続状態  $S_p$  を用いて更新する (S5)。

【0065】さらに、接続状態  $S_p$  を開リスト内から閉リスト内に加え、S3の処理に戻る (S6)。なお、S3の条件が満たされるまで、S4～S6の処理が繰り返される。

【0066】(3) アーク選択部144の動作

アーク選択部144は、パス選択部142が選択した動作パスに含まれる動作アークのいずれかを、動作アークそれぞれに付された重み係数に基づいて確率的に選択する。つまり、アーク選択部144は、動作パスに含まれ、直接に遷移可能な2つの状態の間それぞれに存在する1つ以上の動作アークのいずれかをそれぞれ選択し、最終的な動作パスを決定する。

【0067】アーク選択部144は、パス選択部142が選択した動作パスに対して、動作パス中の動作アーク  $A_{i,j}$ 、それぞれが複数個ずつ含む動作アーク  $A^{k,i,j}$  の中から、一つの動作アークを確率的に選択する。 \*

$$A_{0,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_2}^k \rightarrow A_{i_2,i_2}^k \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}}^k \rightarrow A_{i_{m-1},G}^k$$

【0072】(4) データ送出部146の動作

データ送出部146は、アーク選択部144が決定した動作パスに含まれる動作アークそれぞれが示すロボット1の動作を実現するために駆動部120a～120dに与えるべき動作データを経時的に生成し、駆動部120a～120dに供給する。

【0073】アーク選択部144の動作説明において示したように、ロボット1の初期状態  $S_0$  から目標状態  $S_G$  までの動作アーク  $A^{k,i,j}$  列が出力される。 ※

$$A_{0,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_1}^k \rightarrow A_{i_1,i_2}^k \rightarrow A_{i_2,i_2}^k \rightarrow \dots \rightarrow A_{i_{m-1},i_{m-1}}^k \rightarrow A_{i_{m-1},G}^k \rightarrow A_{G,G}^k$$

【0076】図7は、図4に示した状態遷移図に重み係数を付し、状態3を初期状態とし、状態4を目標状態とした状態遷移図である。

【0077】図8は、図7に示した状態遷移図に基づいて、状態遷移作成部140、パス選択部142、アーク選択部144およびデータ送出部146により決定される動作アーク列を示す図である。

【0078】図7および図8に示すように、データ送出部146は、この動作アーク列が示す動作をロボット1にさせるために駆動部120a～120dそれぞれに与えるべき経時的な動作データを生成し、駆動部120a～120dそれぞれに対して供給する。

【0079】ただし、初期状態  $S_0$  と目標状態  $S_G$  が一致した場合、動作アーク列  $A^{k,i,j}$  が生成されるが、このとき動作アーク列  $A^{k,i,j}$  に対応する動作データは駆動部120a～120dに対して供給されない。この場合、特に状態が変わらず、無駄な処理を省くことができ

\* 【0068】この選択の処理手順は、まず、数値

$[R_0, R_1]$  の範囲で、一様乱数を考え、動作アーク  $A^{k,i,j}$  に対応する領域  $[s_k, e_k]$  を下式のように定義する。

【0069】

【数10】

$$\left[ \left( R_1 - R_0 \right) \sum_{i=0}^{k-1} P^i, \left( R_1 - R_0 \right) \sum_{i=0}^k P^i \right]$$

【0070】ここで、上式において、 $P^i$  は、確率係数を示し、 $P^0 = 0$  である。一様乱数の値  $v$  が、 $s_k \leq v < e_k$  の範囲にある場合において、一様乱数の値  $v$  に対応する動作アーク  $A^{k,i,j}$  を選択する。この選択により、ロボットの初期状態  $S_0$  から目標状態  $S_G$  までの動作パスは、選択された動作アーク  $A^{k,i,j}$  を用いて下式のように定義される。

【0071】

【数11】

※ 【0074】データ送出部146は、目標状態  $S_G$  から目標状態  $S_G$  への動作アーク  $A^{k,i,j}$  を、アーク選択部144による動作アーク選択と同様の手続きで選択し、動作アーク列 (0, 3) の最後に追加する。従って、データ送出部146により最終的に以下の動作アーク列が生成される。

【0075】

【数12】

る。

【0080】以下、ロボット1の動作を説明する。制御部12の状態遷移作成部140は、ロボット1の初期状態から目標状態に到るまでに通過する状態を検出し、検出した状態と、状態の間を遷移する際の動作アークとに基づいて、例えば図4に示した状態遷移図を作成し、動作アークそれぞれに、式1に示した確率的重み  $P_k$  にそれぞれ対応する重み係数  $w_{i,j}$  を付加する。

【0081】パス選択部142は、動作パスに含まれる動作アークの重み係数の総和が最小になる動作アークの集合を、式2～式9および図6に示した手順に従って、ロボット1が初期状態から目標状態に到るまでの間に経過する動作パスとして選択する。

【0082】アーク選択部144は、パス選択部142が選択した動作パスに含まれる動作アークのいずれかを、式10および式11に示した手順に従って、動作アークそれぞれに付された重み係数に基づいて確率的に選

10

40

50



択し、最終的な動作パスを決定する。

【0083】データ送出部146は、アーク選択部144が決定した動作パスに含まれる動作アークそれぞれが示すロボット1の動作を実現するために駆動部120a～120dに与えるべき動作データを経時的に生成し、駆動部120a～120dに供給する。

【0084】駆動部120a～120dは、データ送出部146から供給された動作データに従って脚10a～10dを駆動し、初期状態から目標状態に到るまでの各状態の動作、および、最終的な動作パスに含まれる各動作アークが示すロボット1の動作を実現する。

【0085】以上説明したように、本発明のロボット行動制御装置によれば、予め定義された各状態におけるロボット1の動作、および、各状態間それぞれにおいて1つ以上定義された動作アークが示す状態遷移中のロボット1の動作に基づいて、ロボット1に複数の動作パターンを与えることができる。また、初期状態から目標状態とを同じにして複数回、ロボット1を動作させても、新たな初期状態から目標状態に到る動作を行うたびに、アーク選択部144により異なる動作アークを含む動作パスが最終的に決定されるので、ロボット1の動作が多様化し、その表現力がより向上する。

【0086】なお、以上の説明においては、制御部12がロボット1について予め固定的に設定された状態、動作アークおよび重み係数に基づいて動作パスを決定する場合について説明したが、例えば、センサ16から入力されるセンサデータに基づいて、選択可能な動作アークを制限する、あるいは、重み係数の値を動的に変更する等の変形を施すことにより、周囲の環境に応じてロボット1の動作パターンを変更することが可能になる。

【0087】また、制御部12の各プログラムの動作内容は例示であって、ロボット1の用途に応じて必要な部分のみを抽出して用いて、本発明に係るロボット制御方法を実現してもよい。

【0088】また、上述のようなロボットの制御は、プログラムによって実現でき、また、そのようなプログラムが記録されている記録媒体によっても実現できる。

【0089】

【発明の効果】以上述べたように、本発明に係るロボット装置、ロボット装置の制御方法、記録媒体及びプログラ

\*ラムによれば、ロボットの動作を多様化することができる。

【0090】また、本発明に係るロボット装置、ロボット装置の制御方法、記録媒体及びプログラムによれば、ロボットの動作により表現可能な事象の数を増すことができる。

【0091】また、本発明に係るロボット装置、ロボット装置の制御方法、記録媒体及びプログラムによれば、ロボットの動作の表現力を高めることができる。

#### 10 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るロボット制御方法が適用されるロボットの外形を例示する図であって、(A)はロボットの正面図を示し、(B)はロボットの上面図を示し、(C)はロボットの側面図を示す。

【図2】図1に示したロボットにおいて本発明に係るロボット制御方法を実現するために用いられる制御部の構成を示す図である。

【図3】本発明に係るロボット制御方法を実現するためのプログラム構成を示す図である。

20 【図4】図1に示したロボットの状態、動作アークおよび重み係数の関係を例示する状態遷移図を示す図である。

【図5】図4において隣接する位置にあり、他の状態を介さずに直接状態遷移することができる2つの状態間に定義されたN個の動作アークの例を示す図である。

【図6】図3に示したパス選択部の処理を示すフローチャートである。

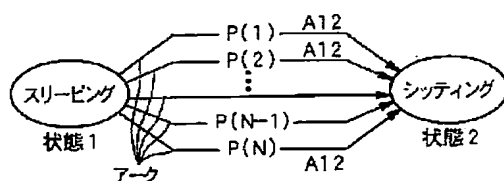
30 【図7】図4に示した状態遷移図に重み係数を付し、状態3を初期状態とし、状態4を目標状態とした状態遷移図である。

【図8】図7に示した状態遷移図に基づいて、図3に示した状態遷移作成部、パス選択部、アーク選択部およびデータ送出部により決定される動作アーク列を示す図である。

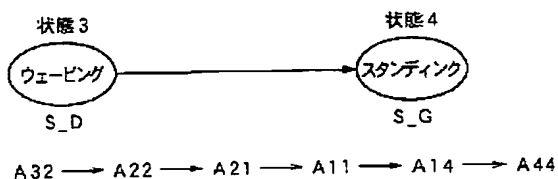
#### 【符号の説明】

1 ロボット、10a～10d 脚、12 制御部、120a～120d 駆動部、14 制御回路、140 状態遷移作成部、142 パス選択部、144 アーク選択部、146 データ送出部、16 センサ

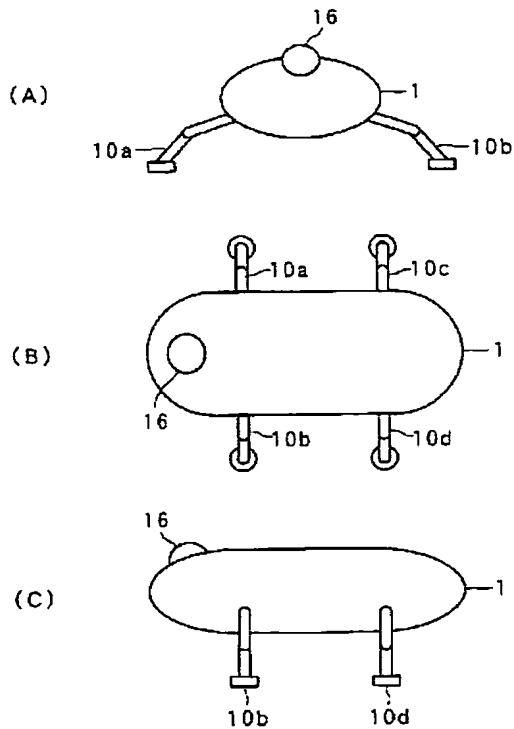
【図5】



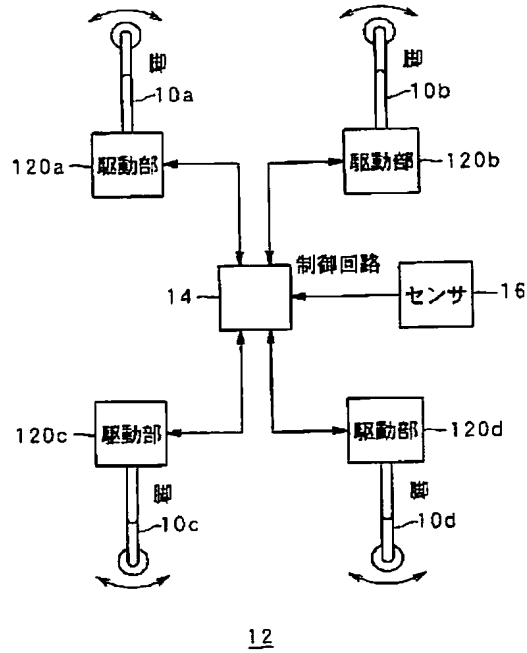
【図8】



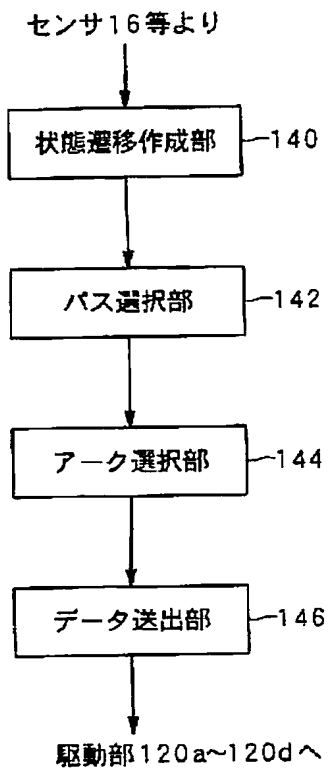
【図1】



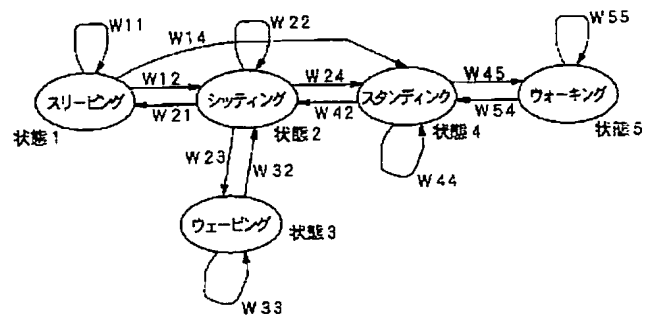
【図2】



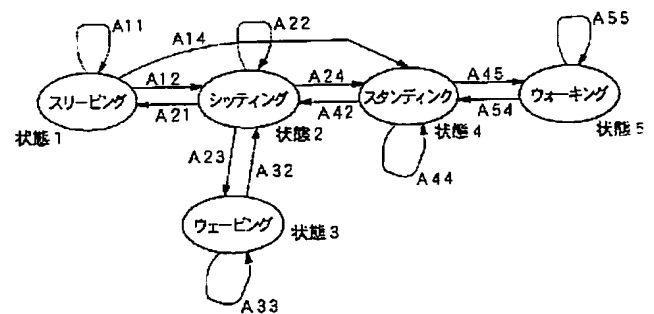
【図3】



【図4】



【図7】



【図6】

